

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

平面槽孔天線的縮小化

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2218-E-032-035-

執行期間：92 年 08 月 01 日至 93 年 07 月 31 日

執行單位：淡江大學電機工程學系(所)

計畫主持人：李慶烈

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，1 年後可公開查詢

中 華 民 國 93 年 12 月 6 日

平面槽孔天線的縮小化

Miniaturization of planar slot antenna

李慶烈 張建平 林文彥

淡江大學電機工程研究所

Department of Electrical Engineering Tamkang University

Tamsui, Taipei Hsien, Taiwan 25137, R.O.C

E-mail:li@ee.tku.edu.tw

計畫編號：NSC92-2218-E-032-035 計劃主持人：李慶烈

執行期間：92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

摘要：本論文提出縮小化槽洞(Notch)平面天線的設計，利用 FR4 板為基底並利用微帶線饋入激發。吾人發現縮小尺寸與頻寬間有取舍關係。縮小化槽洞天線是在基底材質接地面蝕刻出槽洞，在另一面以微帶線饋入激發的天線。槽洞具有一端開路，一端短路之特性，因此此槽孔長度可小於二分之一波長。為進一步的縮小槽洞的尺寸，我們在槽洞的開路端附近加入一段垂直之金屬殘段，此微帶線金屬殘段提供電容效應，如此一來可將 T 型槽孔天線縮小至 0.0735 個波長。

關鍵字：平面天線，槽孔天線，縮小化天線，殘段負載，電容負載

一、簡介

由於無線通訊產業的快速成長以及日漸普及，如 GSM，Wireless LAN，Bluetooth 等，都已經在我們日常生活中使用得非常普遍。為了方便以及美觀，這些無線通訊設備必須要具備輕、薄、短、小的優點，所設計的天線必須要滿足無線通訊傳輸的規格、適用於陣列天線等等，於是天線的小型化更是需要符合現代潮流的趨勢[1][2]。

本篇論文目的在於設計縮小化槽洞(notch)天線，以便應用在各種無線通訊設備上可以獲得最佳的通訊品質。槽洞型天線包含了 Tapered Slot Antenna(TSA)[3]以及 Vivaldi Notch Antenna[4]等等，此種天線屬於尾端發射(end-fire)之行波(traveling wave)天線以及具有頻寬大、高增益、場型對稱等優點。

此縮小化槽洞天線是以槽孔偶極(slot dipole)天線

為出發點，改良縮小化 T 型槽孔天線[5]之缺點。此槽洞天線利用 FR4 板製作，以簡單轉彎之微帶線作為饋入激發，在其接地面蝕刻出槽洞作為天線，此槽洞具有一端開路，一端短路特性，因此此槽洞長度可小於二分之一波長。為進一步的縮小槽洞的尺寸，我們在槽洞的開路端附近加入一段垂直之金屬殘段，此微帶線金屬殘段提供電容效應，如此一來可將槽洞天線縮小至 0.0735 個波長，達成天線輕薄短小的設計趨勢，並且可以改善縮小 T 型槽孔天線的窄頻寬。其輻射場型與傳統 TSA 天線不同(end-fire)，而是與一般槽孔偶極(slot dipole)天線相同，其 E-plane 輻射場型屬於 sine 分佈，H-plane 輻射場型為 uniform 分佈。

二、天線設計

首先考慮以一微帶線激發的簡單槽孔(slot)偶極天線，此天線具有短路-開路-短路的結構特性，如圖(一)所示，其槽孔長度 L_s 為二分之一波長，利用 FR4 基板其介電係數 4.4， $\tan \delta = 0.0155$ ，以線寬為 1.4mm(特性阻抗 50 歐姆)的微帶線饋入，槽孔寬度為 1mm。利用軟體模擬可得其 S_{11} 響應圖，如圖(二)所示，此天線操作頻率在 2.45GHz 處，其對應的 $L_s=40\text{mm}$ 左右，頻寬為 150MHz 左右。

由[5]，所提出之縮小化 T 型槽孔天線是利用 T 型槽孔交接處之電容負載，及一端短路的端點特性及配合利用微帶線殘斷方式獲得之等效電容，如圖(三)所示，可設

計出 0.18 個波長左右之天線。圖(四)為其 S11 響應圖，頻寬約為 50MHz。本論文所提出之縮小化槽洞天線是以上述簡單槽孔偶極天線為出發點並參考 T 型槽孔天線之改良設計。首先我們將圖(一)之天線槽孔改變為槽洞，使此結構天線具有一端開路，另一端短路的特性。接著再將饋入激發之微帶線改變成簡單的三彎型微帶線饋入，如圖(五)所示，此槽洞天線的尺寸為 $W_s=1\text{mm}$ ， $L_s=22.35\text{mm}$ ， $d_1=11.6\text{mm}$ $d_2=5\text{mm}$ 及 $d_3=8.6\text{mm}$ 。圖(六)為此槽洞天線模擬 S11 響應圖，頻寬可達為 1.8GHz。此時天線已經不到二分一波長。接著，我們在槽洞天線開路端的饋入面加入一段微帶殘段(stub)，此微帶殘段的位置儘量靠近開路端，由於此殘段具有電容效應，可使槽洞天線尺寸再縮小，天線尺寸為 $W_s=1\text{mm}$ ， $L_s=6.69\text{mm}$ ， $d=4.62\text{mm}$ ， $L_c=22.6\text{mm}$ ， $W_c=1\text{mm}$ ，如圖(七)所示。利用軟體模擬可得其 S11 響應圖，如圖(八)所示，頻寬約為 130MHz。此時，天線 notch 的長度 L_s 只有 6.69mm。

最後，我們將圖(七)所加入之微帶殘段上下轉彎成為 \sqsubset 的微帶線，天線尺寸為 $W_s=1\text{mm}$ ， $L_s=5.87\text{mm}$ ， $d_1=1.91\text{mm}$ ， $d_2=4.47\text{mm}$ ， $L_{c1}=7.49\text{mm}$ ， $L_{c2}=11\text{mm}$ ， $W_c=1\text{mm}$ ，如圖(九)所示，進而利用軟體模擬可得其 S11 響應圖，如圖(十)所示，頻寬約為 120MHz。此結構即為本論文所提出之縮小化槽洞天線。表一為天線結構其槽線(slot line)長度 L_s 與頻寬之比較表。由表可知，當縮小天線尺寸時將會犧牲其頻寬，利用縮小化槽洞天線的設計方法不僅可以縮小槽線 L_s 的長度，並且可以改善 T 型槽孔天線的頻寬窄的缺點，使頻寬變為約 120MHz。

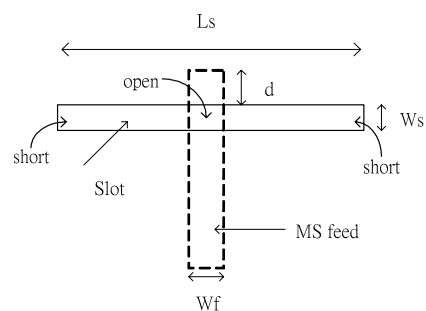
三、實驗成果

將上述天線利用 FR4 板(基板材質 $\epsilon_r = 4.4$)予以實現。圖(十一)為圖(三)結構之 S11 響應圖，由圖可見其實驗與模擬結果非常相近，實驗頻寬約為 1.2GHz 左右。此結構之天線頻帶含跨 1.8GHz(GSM) 以及 2.45GHz(Wireless)，可作為雙模之收發機使用。圖(十二)為此結構在頻率分別為 1.9GHz、2.45GHz 及 2.7GHz 之 E-plane(y-z 平面)輻射場型，圖(十三)為此結構在頻率分別為 1.9GHz 2.45GHz 及 2.7GHz 之 H-plane(x-z 平面)輻射場型。

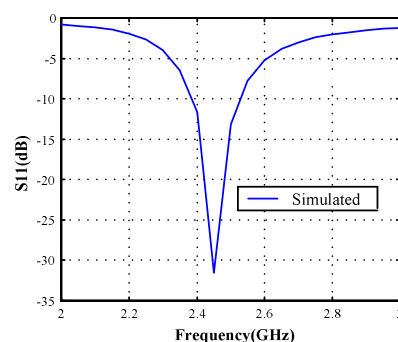
圖(十四)為圖(九)縮小化槽洞天線之 S11 響應圖，頻寬約 100MHz，中心頻率為 2.35GHz。其槽洞長度已經縮小為 5.87mm，為簡單槽孔偶極天線長度的 0.147 倍，約 0.0735 個波長。圖(十五)為縮小化槽洞天線之 E-plane(y-z 平面)及 H-plane(x-z 平面)的輻射場型。

四、結論

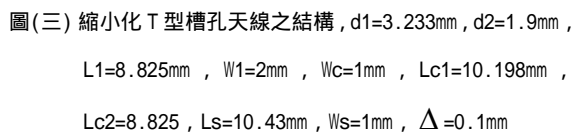
本論文主要研究的縮小化槽洞天線之設計，是利用槽洞的端點一邊開路，一邊短路的端點結構特性以及利用微帶線殘斷的電容負載效應，使面積縮小到 0.0735 個波長左右。圖(三)之槽洞天線結構具有 1.8GHz(GSM) 以及 2.45GHz(Wireless LAN) 雙頻帶之特性，故此天線可適用於雙模之無線收發機，圖(七)為縮小化槽洞天線。以上天線均已被實現，其理論與實作結果相當吻合。



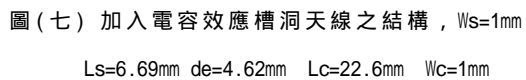
圖(一) 簡單槽孔偶極天線之結構， $W_s=1\text{mm}$ ， $L_s=39.624\text{mm}$ ， $W_f=1.4\text{mm}$ $d=1.635$ 。



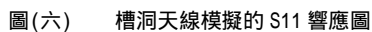
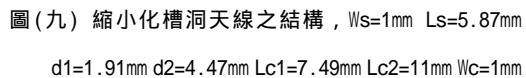
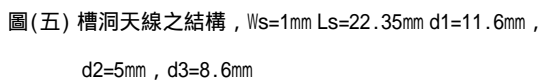
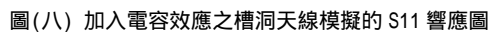
圖(二) 簡單槽孔偶極天線模擬的 S11 響應圖。

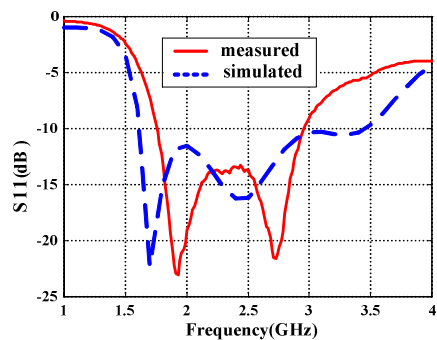


圖(三) 縮小化 T 型槽孔天線之結構, $d_1=3.233\text{mm}$, $d_2=1.9\text{mm}$,
 $L_1=8.825\text{mm}$, $W_1=2\text{mm}$, $W_c=1\text{mm}$, $L_{c1}=10.198\text{mm}$,
 $L_{c2}=8.825$, $L_s=10.43\text{mm}$, $W_s=1\text{mm}$, $\Delta=0.1\text{mm}$

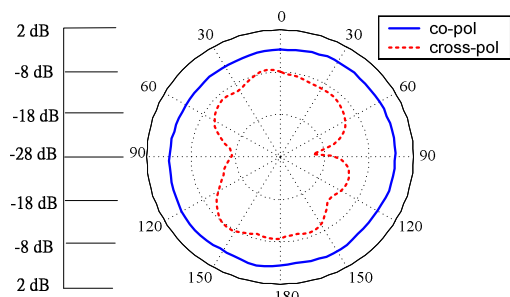


圖(七) 加入電容效應槽洞天線之結構, $W_s=1\text{mm}$
 $L_s=6.69\text{mm}$ $d_e=4.62\text{mm}$ $L_c=22.6\text{mm}$ $W_c=1\text{mm}$

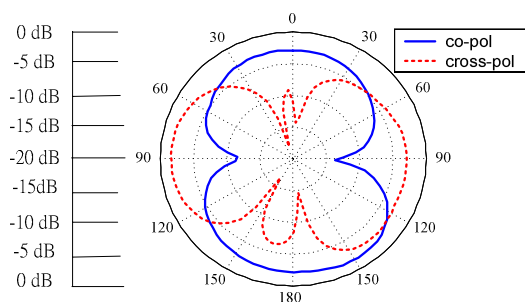




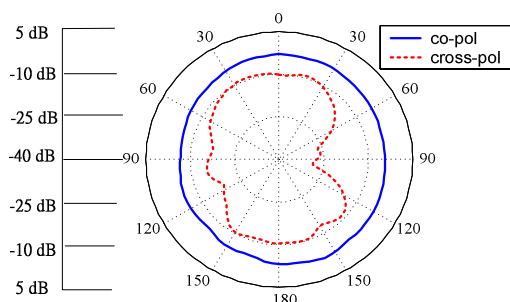
圖(十一) 槽洞天線模擬與量測 S11



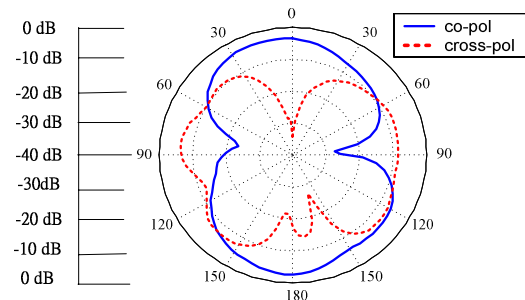
(a) 1.9GHz



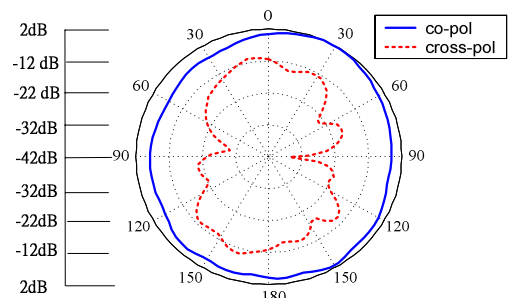
(a) 1.9GHz



(b) 2.45GHz

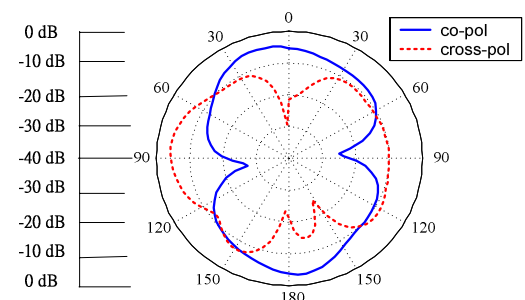


(b) 2.45GHz



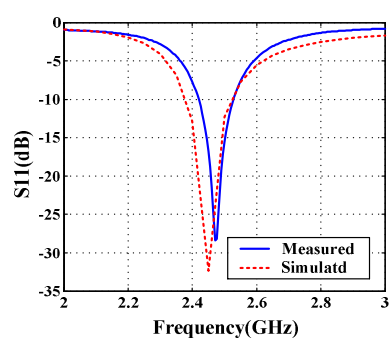
(c) 2.7GHz

圖(十三) 槽洞天線量測輻射場型 H-plane

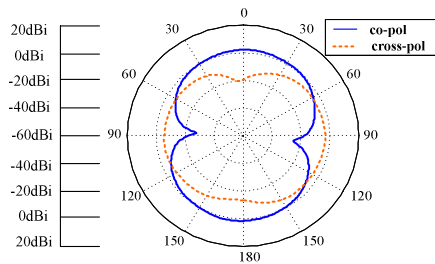


(c) 2.7GHz

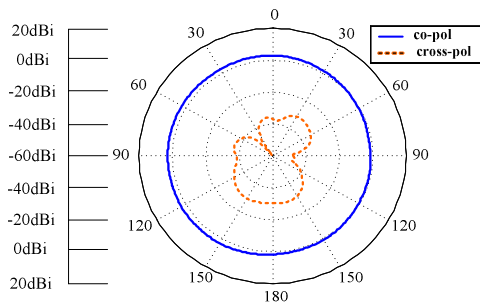
圖(十二) 槽洞天線量測輻射場型 E-plane



圖(十四) 縮小化槽洞天線模擬與量測 S11



(a) E-plane



(b) H-plane

圖(十五) 縮小化槽洞天線輻射場型

表一:天線結構的槽線長度 L_s 與頻寬之比較

	Slot Length L_s (mm)	Bandwidth (MHz)	
		Simulated	Measured
simple dipole slot antenna	39.62mm(0.5λ)	150 MHz	110MHz
Reduced-size T-shaped slot antenna	15.84mm(0.19λ)	50 MHz	42 MHz
Reduced-size notch antenna	5.87mm(0.074λ)	120 MHz	100MHz

參考文獻

- [1] Reduced size single and dual band linear polarized microstrip antennas for mobile communications, Ramirez, R.R.; Elsadek, H.; Jofre, L.; De Flaviis, F.; Antennas and Propagation Society, 2001 IEEE International Sym , Volume: 4 , 2001 Page(s): 450 -453 vol.4
- [2] Small size single and multiband antenna arrays with diversity capabilities for portable devices,Ramirez, R.R.; Jofre, L.; de Flaviis, F.; Radio and Wireless Conference, 2001. RAWCON 2001. IEEE , 2001 Page(s): 215 -218
- [3] Analysis of the Tapered Slot Antenna, RAMAKRISHNA JANASWAMY; DANIEL H. SCHAUBERT; IEEE TRANSACTION ON ANTENNA AND PROPAGATION, VOL. AP-35, NO. 9, SEPTEMBER 1987

- [4] Wide-Band Phased Arrays of Vivaldi Notch Antenna, Daniel H. Schaubert, ; 10th International Conference on Antenna and Propagation, 14-17 April 1997, Conference Publication No. 436
- [5] Design of Reduced-size T-slot Antennas, Ching-Lieh Li, Jian-Ping Chang and Pei-Ying Lin, 2003 Taiwan EMC conference p512~515, Taipei, Taiwan.

Abstract

In this thesis, the author propose reduced-size notch planar antenna fed by a microstrip line on a FR4 board. The tradeoff between the size reduction and the bandwidth is found.

Reduced-size notch planar antenna fed by microstrip line comprises a notch in the plane of a grounded substrate. The notch has the characteristics of open circuit at one end and short circuit at the other. Such that the slot length is smaller than half a wavelength. The notch is further reduced by adding a microstrip stub across the slot near the open circuit end. The microstrip stub provides additional capacitance such that the small T-shape slot antenna about 0.074 wavelength can be achieved.

Key words: Planar antenna, slot antenna, miniaturized antenna, stub loaded, capacitively loaded